Глава 11

МЕТОДЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА ВОД

11.1. ХИМИЧЕСКИЕ ТИПЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Разнообразие химического состава подземных вод вызывает необходимость их систематизации. С этой целью предложены ряд классификаций и множество способов наглядного изображения составов вод (графики, формулы, коэффициенты и пр.).

В настоящее время распространено выражение химического состава вод с помощью формулы Курлова (1928 г.), рационализированной И.Ю. Соколовым:

1. В левой стороне формулы записывается (в мг/дм^3) содержание газов, а затем микрокомпонентов, если их количество превышает нормы для отнесения подземных вод к минеральным.

2. Далее записывается минерализация воды (М) в виде дроби: в числителе – в весовой форме, в знаменателе – в эквивалентной.

3. В псевдодробь записывают в нисходящем порядке все катионы (в знаменателе) и анионы (в числителе), содержание которых составляет более 1 экв-%.

4. В правой стороне от формулы записывают показатели, характеризующие состояние воды (pH и Eh) и температуру, а также перманганатную окисляемость (в мг O_2/дм^3), а также плотность воды.

Например:

$$CO_2 1080 M1,0/18,42 \frac{HCO_3 79 Cl 12 SO_4 8 F1}{Na55 Ca30 Mg14 K1} pH6,3, Eh+100;$$

$$O_{Mn} 2\ t\ 40\ °C.$$

По величине минерализации М (в г/кг) ГОСТом “Гидрохимия. Основные понятия, термины и определения” установлена следующая классификация вод:

Пресные воды	До 1
Солоноватые воды	От 1 до 25
Соленые воды	От 25 до 50
Рассолы	Более 50

Таблица 11.1

Классификация состава природных вод по В.И. Сулину

Тип воды	Na^+/Cl^-	$(Na^+-Cl^-)/SO_4^{2-}$	$(Cl^--Na^+)/Mg^{2+}$
Сульфатно-натриевый	≥ 1	≤ 1	≤ 0
Гидрокарбонатно-натриевый	≥ 1	≥ 1	≤ 0
Хлоридно-магниевый	≤ 1	≤ 0	≤ 1
Хлоридно-кальциевый	≤ 1	≤ 0	≥ 1

Классификация химического состава вод проводится по различным признакам – величине минерализации, характерным солям, соотношению компонентов, специфическим особенностям вод и др. Хорошо известны классификации В.И. Сулина, М.Г. Валяшко, О.А. Алекина, С.А. Щукарева и др.

В нефтегазовой гидрогеологии наибольшее распространение по генетическим типам вод получила классификация В.И. Сулина (1948 г.). В основе ее – выделение 4-х групп вод по наличию ряда компонентов, отражающих специфику обстановки формирования природных вод. Тип воды устанавливается по соотношению ряда эквивалентных коэффициентов (табл. 11.1).

В 1932 г. М.Г. Валяшко, развивая классификацию академика Н.С. Курнакова и исходя из данных о совместной растворимости, выделил три основных химических типа природных вод: карбонатный, сульфатный и хлоридный (табл. 11.2).

Этими тремя химическими типами охватывается подавляющее большинство земных вод, за исключением группы кислых вод, в которых присутствуют сильные кислоты, вроде HCl, HF, H_2SO_4. Кислые воды в земных условиях малоустойчивы и су-

Таблица 11.2

Классификация состава природных вод по М.Г. Валяшко

Типы природных рассолов	$K_1 = \frac{Alk^*}{Ca^{2+} + Mg^{2+}}$	$K_2 = \frac{Alk + SO_4^{2-}}{Ca^{2+} + Mg^{2+}}$	$K_3 = \frac{Alk + SO_4^{2-}}{Ca^{2+}}$	$K_4 = \frac{Alk}{Ca^{2+}}$
Карбонатный	≥ 1	≥ 1	≥ 1	≥ 1
Сульфатный:				
сульфатно-натриевый	≤ 1	≥ 1	≥ 1	≤ 1 ≥ 1
сульфатно-магниевый	≤ 1	≥ 1	≥ 1	≤ 1 ≥ 1
Хлоридный	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1

$^*Alk = CO_3^{2-} + HCO_3^-$.

ществуют только там, где происходит постоянная генерация сильных кислот (например, в областях современного вулканизма).

Выделенные химические типы вод являются естественными природными образованиями и формируются в природной обстановке в результате отбора устойчивых природных ассоциаций растворенных компонентов в природных водах.

Переход из одного химического типа в другой может осуществляться под влиянием процессов метаморфизации – воздействия вещества окружающей среды, постороннего данной воде, или под влиянием живого вещества.

Классификации В.А. Сулина и М.Г. Валяшко во многом совпадают. Однако выделенные В.А. Сулиным сульфатно-натриевый и хлормагниевый типы вод являются лишь частями одной взаимной системы и вода сульфатно-натриевого типа может быть переведена в хлормагниевую простым охлаждением. Поэтому при прогнозировании солеотложения удобнее пользоваться классификацией М.Г. Валяшко.

Еще одно существенное замечание к классификации Сулина – то, что в ней используется ион натрия. В практике химических лабораторий ион натрия рассчитывают по разности между суммой основных анионов и кальция и магния. Поэтому на натрий приходятся все основные ошибки определения. Если в воде присутствуют ингибиторы коррозии, соляная кислота, повышенное содержание иона аммония – все это автоматически пересчитывается на натрий, в результате чего ошибки в определении его могут достигать, в отдельных случаях, 100 % и более.

11.2. МЕТОДЫ ПЕРЕСЧЕТА ИОННОГО СОСТАВА ВОД В СОЛЕВУЮ ФОРМУ

Обычно данные химических анализов вод, получаемые в химико-аналитических лабораториях, выражены в мг или мг-экв ионов на 1 дм^3 воды. Для прогноза состава солей, выпадающих из вод в результате того или иного процесса, необходимо эти данные пересчитать в солевую форму (М.Г. Валяшко, 1965). Для этого состав воды выражают в мг-экв/дм^3 и далее пересчитывают по нижеприведенной схеме.

Состав основных солей в растворах: $Ca(HCO_3)_2$, $Mg(HCO_3)_2$, $NaHCO_3$, $CaSO_4$, $MgSO_4$, Na_2SO_4, $CaCl_2$, $MgCl_2$, $NaCl$, KCl. Здесь и далее под HCO_3^- подразумевается сумма $(HCO_3^- + CO_3^{2-})$.

Карбонатный тип воды

Присутствуют следующие соли: $Ca(HCO_3)_2$, $Mg(HCO_3)_2$, $NaHCO_3$, Na_2SO_4, NaCl, KCl.

Расчет ведется по схеме:

1. Содержание $Ca(HCO_3)_2$ равно содержанию Ca^{2+}:

$$Ca(HCO_3)_2 = Ca^{2+}.$$

2. Содержание $Mg(HCO_3)_2$ равно содержанию Mg^{2+}:

$$Mg(HCO_3)_2 = Mg^{2+}.$$

3. Содержание $NaHCO_3$ равно содержанию иона $(HCO_3)^-$ минус содержание $(Ca^{2+} + Mg^{2+})$:

$$NaHCO_3 = (HCO_3)^- - (Ca^{2+} + Mg^{2+}).$$

4. Содержание Na_2SO_4 равно содержанию SO_4^{2-}:

$$Na_2SO_4 = SO_4^{2-}.$$

5. Содержание KCl равно содержанию K^+:

$$KCl = K^+.$$

6. Содержание NaCl равно содержанию Cl^- минус содержание K^+:

$$NaCl = Cl^- - K^+.$$

7. Проверка: содержание (общее) Na^+ равно содержанию $NaHCO_3 + Na_2SO_4 + NaCl$.

Сульфатный тип (сульфатно-натриевый)

Присутствуют соли: $Ca(HCO_3)_2$, $CaSO_4$, $MgSO_4$, Na_2SO_4, KCl, NaCl.

1. Содержание $Ca(HCO_3)_2$ равно содержанию HCO_3^-:

$$Ca(HCO_3)_2 = HCO_3^-.$$

2. Содержание $CaSO_4$ равно общему содержанию Ca^{+2} минус $Ca(HCO_3)_2$:

$$CaSO_4 = Ca^{2+} - Ca(HCO_3)_2.$$

3. Содержание $MgSO_4$ равно содержанию Mg^{2+}:

$$MgSO_4 = Mg^{2+}.$$

4. Содержание Na_2SO_4 равно содержанию SO_4^{2-} минус содержание $(CaSO_4 + MgSO_4)$:

$$Na_2SO_4 = SO_4^{2-} - (CaSO_4 + MgSO_4).$$

5. Содержание KCl равно содержанию K^+:

$$KCl = K^+.$$

6. Содержание $NaCl$ равно содержанию Na^+ минус содержание Na_2SO_4:

$$NaCl = Na^+ - Na_2SO_4.$$

Сульфатный тип (сульфатно-магниевый)

Присутствуют соли: $Ca(HCO_3)_2$, $CaSO_4$, $MgSO_4$, $MgCl_2$, KCl, $NaCl$.

1. Содержание $Ca(HCO_3)_2$ равно содержанию HCO_3^-:

$$Ca(HCO_3)_2 = HCO_3^-.$$

2. Содержание $CaSO_4$ равно содержанию Ca^+ минус содержание $Ca(HCO_3)_2$:

$$CaSO_4 = Ca^{2+} - Ca(HCO_3)_2.$$

3. Содержание $MgSO_4$ равно содержанию SO_4^{2-} минус содержание $CaSO_4$:

$$MgSO_4 = SO_4^{2-} - CaSO_4.$$

4. Содержание $MgCl_2$ равно содержанию SO_4^{2-} минус содержание $MgSO_4$:

$$MgCl_2 = SO_4^{2-} - MgSO_4.$$

5. Содержание KCl равно содержанию K^+:

$$KCl = K^+.$$

6. Содержание $NaCl$ равно содержанию Na^+:

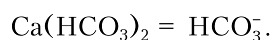
$$NaCl = Na^+.$$

7. Проверка: содержание Cl^- равно содержанию $MgCl_2 + KCl + NaCl$.

Хлоридный тип

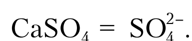
Присутствуют соли: $Ca(HCO_3)_2$, $CaSO_4$, $CaCl_2$, $MgCl_2$, KCl, $NaCl$.

1. Содержание $Ca(HCO_3)_2$ равно содержанию HCO_3^-:



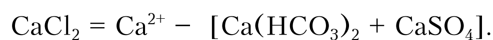
$$Ca(HCO_3)_2 = HCO_3^-.$$

2. Содержание $CaSO_4$ равно содержанию SO_4^{2-}:



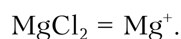
$$CaSO_4 = SO_4^{2-}.$$

3. Содержание $CaCl_2$ равно содержанию Ca^{2+} минус содержание $[Ca(HCO_3)_2 + CaSO_4]$:



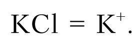
$$CaCl_2 = Ca^{2+} - [Ca(HCO_3)_2 + CaSO_4].$$

4. Содержание $MgCl_2$ равно содержанию Mg^+:



$$MgCl_2 = Mg^+.$$

5. Содержание KCl равно содержанию K^+:



$$KCl = K^+.$$

Таблица 11.3

Молекулярные и эквивалентные веса некоторых ионов и химических соединений

Химический символ	Молекулярный (атомный) вес	Эквивалентный вес	Химический символ	Молекулярный (атомный) вес	Эквивалентный вес
CO_3^{2-}	60,0093	30,0046	KCl	74,555	74,555
HCO_3^-	61,0173	61,0173	KBr	119,011	119,011
SO_4^{2-}	96,062	48,03	KOH	56,109	56,109
S^{2-}	32,064	16,032	K_2O	94,203	
HS^-	33,072	33,072	Rb^+	85,47	85,47
Cl^-	35,453	35,453	Mg^{2+}	24,312	12,156
Na^+	22,9898	22,9898	$MgCO_3$	85,321	42,161
Na_2CO_3	105,9890	52,9945	$Mg(HCO_3)_2$	146,347	73,173
$NaHCO_3$	84,0071	84,0071	$MgSO_4$	120,374	60,187
Na_2SO_4	142,041	71,020	$MgCl_2$	95,218	47,609
NaCl	58,4428	58,4428	$Mg(OH)_2$	58,327	29,163
NaBr	102,899	102,899	MgO	40,311	20,16
NaOH	39,9972	39,9972	Ca^{2+}	40,08	20,04
Na_2O	61,9790		$CaCO_3$	100,09	50,04
K^+	39,102	39,102	$Ca(HCO_3)_2$	162,11	81,06
K_2CO_3	138,213	69,107	$CaSO_4$	136,14	68,07
$KHCO_3$	100,119	100,119	$CaCl_2$	110,99	55,49
K_2SO_4	174,266	87,133	$Ca(OH)_2$	74,09	37,05

6. Содержание NaCl равно содержанию Na^+:

$$NaCl = Na^+.$$

7. Проверка: общее содержание Cl^- равно сумме солей хлоридов

$$Cl = CaCl_2 + MgCl_2 + KCl + NaCl.$$

Все расчеты ведутся только в мг-экв/дм^3.

Для пересчета мг-экв/дм^3 солей в мг/дм^3 надо полученные соли умножить на их эквивалентный вес (табл. 11.3).